

CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING  
NOTA 382, d.d. 14 februari 1967

De grondwaterstandsanalyse als middel om de  
verdamping te leren kennen

G. W. Bloemen

---

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Aan gebruikers buiten het Instituut wordt verzocht ze niet in publikaties te vermelden.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

---



## I N H O U D

Biz.

1. Inleiding	1
2. Afstroming	2
2.1. Bergingscoëfficiënten	2
2.2. Verrekening met bergingsveranderingen	3
2.3. Het gebruik van vochtmetingen	4
3. De berging	5
3.1. Eerste schatting van bergingscoëfficiënten	5
3.2. Samenhang tussen grondwaterdiepte en vochtinhoud van de grond	6
3.3. Het gebruik van vochtmetingen	7
4. De werkelijke verdamping	8
4.1. Schatting van maandelijkse daggemiddelden	8
4.2. Het gebruik van vochtmetingen	9
5. Verklaring van de gevonden verdampingscijfers	10
5.1. Grafische voorstelling van een verdampingstheorie	10
5.2. Een schatting van maandgemiddelden van het vochtgehalte	11
5.3. De waarde van de constanten voor de verdampingsberekening	13
6. Reconstructie van het beloop van de werkelijke verdamping	15
6.1. Een voorbeeld van de verdampingsberekening	15
6.2. Een toetsing aan het gereconstrueerde beloop van de grondwaterdiepte	16
7. Conclusies	18
Literatuur	19



## 1. Inleiding

Dat uit een analyse van de grondwaterbeweging in combinatie met regencijfers en cijfers die betrekking hebben op het verdampend vermogen van de atmosfeer conclusies kunnen worden getrokken over de grootte van de werkelijke verdamping van bodem en gewas, is al eerder aangetoond. Daarbij bleek, dat door een eenvoudige grafische bewerking van beschikbare cijfers het jaarlijks beloop bekend wordt van de intensiteit van de werkelijke verdamping als gemiddelde over het aantal jaren, waarin de waarnemingen werden verzameld.

De gevonden verdampingswaarden zijn niet overdraagbaar op willekeurige jaren in of buiten de waarnemingsperiode, wanneer niet bekend is waarom ze niet hoger of lager uitvielen. Wil men de gevonden cijfers overdraagbaar maken dan zal men ze moeten trachten te verklaren uit de samenhang van de gewasverdamping met grootheden, die niet alleen in maar ook buiten de bestudeerde waarnemingsperiode gemeten zijn, of waarvan het beloop gereconstrueerd kan worden. Kent men deze samenhang dan kan het beloop van de evapotranspiratie gereconstrueerd worden over willekeurige tijdvakken (BLOEMEN, 1966).

Voor het verklaren van de gemiddelde verdampingscijfers kan gebruik worden gemaakt van een formule, die het voordeel heeft een vergaande samenvatting te geven van de samenhang tussen de evapotranspiratie en zowel atmosferische verdamping als bodemvochtgehalte. Deze samenhang kan met drie constanten worden beschreven (VISSER, 1964). Voor het bepalen van de waarde van deze constanten wordt een grafische bewerking uitgevoerd met het voordeel van vereffening van de onnauwkeurigheden in de drie variabele grootheden die erin voorkomen. Een vergaande uitbreiding van de toepassingsmogelijkheden van deze techniek ontstaat door de bewerking uit te voeren met bodemvochtgehalten, die niet zijn gemeten maar die zijn gereconstrueerd op basis van een evenwichtsvochtgehalte, dat afgeleid wordt uit pF-curven en een tekort van neerslag ten opzichte van de werkelijke verdamping.

In het tot nu toe enige geval van een dergelijke bewerking was geen gelegenheid om de methodiek te toetsen. Dank zij het feit dat in het Leerinkbeekgebied op vrij uitgebreide schaal vochtmetingen zijn verricht (COLENBRANDER, 196.) is het mogelijk om nu de resultaten van een techniek

waarbij alleen neerslagcijfers, grondwaterstandsgegevens en de gegevens van een pF-bemonstering beschikbaar zijn, te vergelijken met de uitkomsten die werden verkregen met gebruikmaking van gemeten vochtgehalten. Hiertoe zijn van waarnemingspunt 301 H, later 311 H, de gegevens over de grondwaterdiepte, de neerslaghoeveelheden en de vochtgehalten van 11/7'61 tot en met 16/2'65 onderworpen aan een studie, die in de volgende hoofdstukken wordt besproken \*).

## 2. Afstroming

### 2.1. Bergingscoëfficiënten

In figuur 1 is voor de perioden tussen twee grondwaterstandsmetingen in de maanden november, december, januari en februari het gemiddelde van de grondwaterstand aan begin en eind van de periode uitgezet tegen het daggemiddelde van de neerslag minus de openwater-verdamping. De neerslag is ter plaatse gemeten. De verdampingsgegevens zijn afkomstig van de maandelijkse weeroverzichten van het K.N.M.I. en gelden voor het station Winterswijk.

De grote spreiding in figuur 1 maakt het onmogelijk om een samenhang tussen de in dezelfde periode optredende neerslagintensiteit en grondwaterdiepte te herkennen. Wanneer bij de afzonderlijke waarnemingen in figuur 1 wordt aangegeven hoe groot de grondwaterstandsverandering in de betreffende periode geweest is dan blijkt dat de spreiding voor een belangrijk deel wordt verklaard uit een samenhang tussen neerslagintensiteit en grondwaterstandsverandering. In figuur 2 zijn de daggemiddelden van neerslag minus verdamping uitgezet tegen de daggemiddelden van de grondwaterstandsverandering. Onderscheid is gemaakt naar de grondwaterdiepte, want als er een samenhang tussen grondwaterdiepte en afstromingsintensiteit is dan is in een aantal willekeurige perioden met ongeveer dezelfde grondwaterdiepte de afstromingsintensiteit ongeveer gelijk. Wanneer nu in één van deze perioden de neerslag na aftrek van de verdamping hoger is dan de nog onbekende afstroming, dan treedt grondwaterstijging op. Het neerslagoverschot moet immers geborgen worden. Blijft de neerslag achter bij de verdamping plus de afstroming, dan gaat dit gepaard met grondwaterdaling omdat er water aan de berging wordt onttrokken.

---

\*) De gegevens werden ter beschikking gesteld door ir. H.J. Colenbrander.

In figuur 2 wordt voor het betreffende waarnemingspunt de verhouding tussen de grondwaterstandsveranderingen en de variaties in neerslagintensiteit door de regressie-lijnen aangegeven. Deze verhouding is niet constant. Bij een grondwaterdiepte van 50 cm onder maaiveld wordt een grondwaterstandsverandering van 1 cm veroorzaakt door een verandering in de neerslagintensiteit van 0,8 mm. De bergingscoëfficiënt is 8% maar bedraagt bij een grondwaterdiepte van 153 cm 14%. Het aantal waarnemingen in de wintermaanden was niet groot genoeg om voor meer dan drie grondwaterdiepten de bergingscoëfficiënt vast te stellen.

## 2.2. Verrekening met bergingsveranderingen

In figuur 2 wordt tevens een eerste schatting gedaan naar de samenhang tussen grondwaterdiepte en afstroming. De regressie-lijnen geven aan bij welke neerslagintensiteit de grondwaterdiepte niet verandert. Aangenomen mag worden dat wanneer er in de wintermaanden, waarin het bodemvochtgehalte niet beneden veldcapaciteit komt, geen grondwaterstandsverandering optreedt in 14-daagse perioden, eveneens geen bergingsveranderingen optreden en de niet verdampte neerslag aan de afstroming gelijk is. In figuur 2 vindt men voor drie opklimmende grondwaterstandsdiepten deze gemiddelde dagwaarde van de afstroming. Het is echter mogelijk om een schatting van de samenhang tussen grondwaterdiepte en afstroming te doen, waarbij alle beschikbare gegevens direct bijdragen aan het eindresultaat. Met de bergingscoëfficiënten kunnen de in centimeters gegeven grondwaterstandsveranderingen worden omgerekend in millimeters bergingsveranderingen. Wanneer het grondwater is gedaald moet deze bergingsafname worden opgeteld bij de neerslag minus verdamping om de afstroming te vinden. Wanneer de grondwaterstand is gestegen, moet de berekende bergingstoename worden afgetrokken. Het in iedere periode op berging gecorrigeerde overschot van de neerslag op de verdamping is in figuur 3a uitgezet tegen de grondwaterdiepte. Het resultaat van deze bewerking is in figuur 3a gegeven na berekening van de bergingsverandering met behulp van de bergingscoëfficiënten volgens figuur 2 en in figuur 3b met behulp van bergingscoëfficiënten volgens een scherpere en meer gedifferentieerde schatting, waarop in paragraaf 3.2. wordt ingegaan. Het is duidelijk dat al in een vroeg stadium van de grondwaterstandsanalyse een beeld van de afstromingsfunctie kan worden verkregen, die in een later stadium niet veel meer verbeterd kan worden. Op de

gegevens in fig. 3 is de met een gebroken lijn weergegeven schatting gebaseerd van de samenhang tussen grondwaterdiepte en afstroming. Hierbij is uitgegaan van de opvatting dat in deze hoge zandgrond een snelle afstroming naar een ondiepe ontwateringsbasis is gesuperponeerd op een langzame afstroming naar een diepe. Gebrek aan nauwkeurigheid laat niet toe om deze functies anders dan met rechte lijnen weer te geven. Vermoedelijk doordat bij zeer hoog gestegen grondwaterstanden ook de ontwateringsbasis stijgt en in de drukhoogte ten opzichte hiervan weinig verandering meer komt, treedt bij grondwaterstanden hoger dan 60 cm geen stijging van de afstroming meer op. Bij het ontbreken van gegevens over de diepte van de ontwateringsbasis is een scherpere beschrijving van de afstromingsfunctie dan in figuur 3a of 3b niet te geven.

### 2.3. Het gebruik van vochtmetingen

Wanneer men de vochtmetingen gebruikt, die op dezelfde data zijn verricht als de grondwaterstandsmetingen, dan kan direct de hoeveelheid water worden berekend die moet zijn afgestroomd. In figuur 3c is de samenhang getoond tussen de gemiddelde grondwaterdiepte en de neerslag minus verdamping, verrekend met de door de neutronen-sonde gemeten vochtvoorraadveranderingen en omgerekend op daggemiddelden. Ook in figuur 3c zijn alleen de gegevens van de perioden in de maanden november, december, januari en februari verwerkt.

De spreiding in figuur 3c is veel groter dan die in figuur 3a en 3b en er zijn twee perioden, waarvan men gevoegelijk mag aannemen dat het grote negatieve daggemiddelde ontstaan is door een fout in de gegevens. In de betreffende perioden overtrof de vochtvoorraadstijging de neerslag in sterke mate. Ook wanneer beide perioden buiten beschouwing worden gelaten is een samenhang tussen grondwaterdiepte en afstroming niet erg duidelijk. Men kan echter de puntenzwerm in enige groepen van ongeveer gelijk aantal punten verdelen zoals in figuur 3c is aangegeven. Wanneer dan per groep het punt van gemiddelde samenhang wordt berekend dan levert deze vereffening een gemiddelde lijn op die van de lijn in figuur 3a of 3b niet zoveel afwijkt. Het belangrijkste verschil zit in de schatting van de langzame afstroming bij diepe grondwaterstanden. Deze valt bij verrekening van de gemeten vochtvoorraadveranderingen, lager uit dan volgens de grondwaterstandsanalyse. Dit wordt veroorzaakt doordat in de winter van 1962/1963 bij zeer lage en constante grondwaterdiepte ondanks geringe



neerslagintensiteit vrij grote vochtinhoudstoename werd gemeten. Deze kon misschien bij de extreem lage grondwaterdiepte door ondergrondse toestroming vanuit de omgeving optreden.

### 3. De berging

#### 3.1. Eerste schatting van bergingscoëfficiënten

Met de afstromingskromme in figuur 3a is op grond van gegeven grondwaterdiepten voor alle afzonderlijke perioden tussen 11/7'61 en 16/2'65 het daggemiddelde van de afstroming geschat. Deze daggemiddelden zijn afgetrokken van de daggemiddelden van de neerslagintensiteit. De verschillen zijn opgegeven in kolom 3 op Bijlage 1.

Volgens de waterbalansvergelijking is de neerslag verminderd met de afstroming gelijk aan de werkelijke verdamping verminderd met de vochtvoorraadveranderingen. Het is mogelijk om de twee laatstgenoemde posten, waarvan nu de som bekend is, langs grafische weg van elkaar te scheiden. De vochtvoorraadveranderingen weerspiegelen zich immers in de grondwaterstandsveranderingen. Wanneer nu het verschil van neerslag en afstroming in een aantal perioden wordt uitgezet tegen de grondwaterstandsveranderingen in dezelfde perioden, dan zal een nauwere samenhang optreden naarmate de evapotranspiratie in de samengenomen perioden minder variatie vertoont. De variaties in het verschil tussen neerslag en afstroming komen dan immers nauwkeuriger overeen met de variaties in de vochtvoorraadveranderingen.

Aangezien de evapotranspiratie onbekend is kan de indeling van de perioden alleen tot stand komen op grond van parameters. De enige parameters voor de evapotranspiratie, waarvan de waarden bekend zijn, zijn de atmosferische verdamping en de grondwaterdiepte; de laatste op grond van de samenhang ervan met het vochtgehalte van de grond.

De perioden waarvan de noodzakelijke gegevens beschikbaar zijn en in Bijlage 1 zijn weergegeven, zijn in elf groepen opgedeeld met een zo kleine variatie in grondwaterdiepte en atmosferische verdamping als mogelijk is zonder dat per groep te weinig waarnemingen overblijven om een enigszins betrouwbare regressie te kunnen berekenen tussen het verschil van neerslag en afstroming en de grondwaterstandsveranderingen. In figuur 4 zijn voor de afzonderlijke groepen beide grootheden tegen elkaar uitgezet. In de afzonderlijke figuren zijn rechtlijnige regressies berekend

die een eerste schatting zijn van de bergingscoëfficiënten die gelden voor verschillende grondwaterdiepten. Daarnaast is aangegeven hoe volgens een scherpere en meer gedifferentieerde schatting, waarop in paragraaf 3.2. wordt ingegaan, de verhouding is tussen neerslagoverschotten en grondwaterstandsveranderingen. De bergingscoëfficiënt blijkt te variëren tussen ongeveer 7 en 25 %.

### 3.2. Samenhang tussen grondwaterdiepte en vochtinhoud van de grond

De afzonderlijke grafieken in figuur 4 geven aan hoeveel water betrokken is bij een stijging of daling van de gegeven gemiddelde grondwaterstand. Zo zou bijvoorbeeld volgens de rechtlijnige regressie in figuur 4 bij een stijging van het grondwater van 136 naar 116 cm onder maaiveld de vochtinhoud van het profiel met  $22/100 \times 20 \text{ cm} = 44 \text{ mm}$  toenemen, als de bergingscoëfficiënt constant was. Deze is echter volgens figuur 4i bij een grondwaterdiepte van 115 cm al afgenomen van 22% tot 11%. Hieruit volgt dat de samenhang in figuur 4j - evenals in de andere figuren - niet door een rechtlijnige regressie kan worden beschreven. Wanneer de verandering van de vochtinhoud bij een gegeven grondwaterstandsverandering zo nauwkeurig mogelijk berekend moet worden dan moet rekening gehouden worden met de veranderende bergingscoëfficiënt.

Nu is het niet mogelijk om in de afzonderlijke grafieken in figuur 4 kromlijnige regressies te berekenen. Elke grafiek is echter deel van een figuur, die de samenhang tussen grondwaterdiepte en vochtinhoud integraal weergeeft. Deze figuur wordt geconstrueerd door de afzonderlijke grafieken van figuur 4 samen te brengen in een assenstelsel zoals figuur 5 weergeeft. De gemiddelde grondwaterstandswaarden van de afzonderlijke grafieken van figuur 4 zijn op schaal aangegeven op de abscis in figuur 5. De nulpunten voor de grondwaterstandsverandering worden op deze gemiddelde waarden gelegd. De figuren worden zo geplaatst dat grondwaterdalingen de richting van diepere grondwaterstanden op de abscis in figuur 5 aangeven. De ordinaten in figuur 4 worden in figuur 5 gelijk gericht. Vervolgens worden de afzonderlijke grafiekjes evenwijdig aan de ordinaat in figuur 5 verschoven totdat de punten zo dicht mogelijk om een denkbeeldige lijn liggen. Deze verschuiving verrekent verschillen in evapotranspiratie - die, zoals in paragraaf 4.1. blijkt, al bekend zijn - en onbekende verschillen in vochtinhoud - die hierdoor geschat worden - tussen de afzon-

derlijke groepen van perioden.

In figuur 6 is het resultaat van de integratie van figuur 4 weergegeven, met de lijn, die de samenhang tussen grondwaterdiepte en vochtinhoud van het profiel weergeeft. De schaaleenheden in figuur 5 en 6 staan in dezelfde verhouding tot elkaar als in figuur 4. Hiermee is de schaalindeling op de ordinaat in figuur 6 bepaald.

In figuur 6 is een nulpunt op de ordinaat willekeurig gekozen bij een grondwaterdiepte van 0 cm. Een vrij zwak gefundeerde extrapolatie van de berekende lijn is hiervoor nodig. Absolute waarden voor de grootte van de vochtinhoud kunnen niet worden gegeven.

In figuur 4 is aangegeven hoe de lijn in figuur 6 zo goed mogelijk is aangepast aan het beperkt aantal waarnemingen in de afzonderlijke grafieken.

### 3.3. Het gebruik van vochtmetingen

Met behulp van de vochtmetingen met de neutronen-sonde kan de vochtinhoud van het profiel tot op een diepte van 260 cm onder maaiveld worden berekend. In figuur 7 zijn deze totalen uitgezet tegen de grondwaterdiepte die gelijktijdig met de vochtinhoud werd gemeten. Er blijkt tussen beide grootheden een duidelijke samenhang te bestaan. Voor de spreiding van de afzonderlijke waarnemingen om een gemiddelde lijn kan geen verklaring worden gegeven. Deze is blijkbaar toevallig.

In figuur 8 zijn voor dezelfde groepen van perioden als in de figuren 4a, i en j de daggemiddelden van de gemeten vochtvoorraadveranderingen uitgezet tegen die van de grondwaterstandsveranderingen. De figuren 8a, b en c worden zo gelegd dat de nulpunten voor de grondwaterstandsveranderingen samenvallen met de bijbehorende gemiddelde waarden voor de grondwaterdiepte op de abscis in figuur 7. Daarna worden de puntenzwermen evenwijdig aan de ordinaat verschoven tot ze zo goed mogelijk passen bij de gemiddelde lijn in figuur 7. Deze lijn werd voor zover nodig in de figuren 8a, b en c overgenomen. De betreffende lijngedeelten wijken weinig af van de rechte regressies die in figuur 8 kunnen worden berekend. Uit deze voorbeelden volgt dat de samenhang in figuur 7 ook zou kunnen worden gereconstrueerd door toepassing van de techniek die in paragraaf 3.2. werd beschreven, maar waarbij in plaats van gemeten vochtvoorraadveranderingen de vochtvoorraadveranderingen werden gebruikt, die

op de besproken wijze werden geschat als neerslag minus afstroming en verdamping. De bruikbaarheid van de techniek, die figuur 6 opleverde, is hiermee wel aangetoond.

De gemiddelde lijn in figuur 7 geeft aan dat bij een grondwaterstandsverandering van 50 tot 180 cm of omgekeerd 200 mm water is betrokken. Dit komt overeen met wat de lijn in figuur 6, die ter vergelijking ook in figuur 7 is getekend, aangeeft. Er is echter verschil in het beloop van beide lijnen. De integratie van figuur 4 leverde een reconstructie van de samenhang tussen grondwaterdiepte en vochtvoorraad waaraan enig detail ontbreekt. Naarmate het aantal gegevens groter is, zodat de perioden in een groter aantal elkaar overlappende groepen met ongeveer gelijke grondwaterdiepte kunnen worden opgesplitst, zal dit tekort minder zwaar wegen.

#### 4. De werkelijke verdamping

##### 4.1. Schatting van maandelijkse daggemiddelden

In paragraaf 3.1. werd al opgemerkt dat het mogelijk is om langs grafische weg de werkelijke verdamping en vochtvoorraadveranderingen van elkaar te scheiden, wanneer de som ervan bekend is.

Deze techniek berust er op dat op grond van bekende parameters een schatting wordt gedaan van de grootte van de werkelijke verdamping. In feite geeft figuur 4 het resultaat van deze schatting direct aan. In iedere afzonderlijke grafiek in figuur 4 geeft het snijpunt van de regressielijn met een ordinaat door het nulpunt voor de grondwaterstandsveranderingen aan hoe groot de werkelijke verdamping is als gemiddelde van de in de betreffende figuur voorkomende periode. In dit snijpunt immers zijn vochtvoorraadveranderingen geëlimineerd en is het verschil van neerslag en afstroming dus gelijk aan de werkelijke verdamping. De gemiddelde potentiële verdamping en de gemiddelde grondwaterstand per grafiek leveren een eenvoudige beschrijving van de voorwaarden waaronder de gevonden werkelijke verdamping ontstond.

In figuur 4 leveren de rechtlijnige regressies een eerste schatting van de werkelijke verdamping op. Vanzelfsprekend echter moeten de snijpunten van de lijngedeelten van de kromme in figuur 6 met de ordinaat door het nulpunt van de grondwaterstandsverandering als een betere schatting worden beschouwd.

Het kan om een reden die in paragraaf 5.1. wordt genoemd, aanbeveling verdienen om voor de scheiding van werkelijke verdamping en vochtvoorraadsveranderingen de gegevens niet zoals in figuur 4, maar volgens een tijdschaal in te delen.

In figuur 9 zijn de perioden gerangschikt volgens de maand waarin ze vallen, waarna neerslag minus afstroming is uitgezet tegen de grondwaterstandsveranderingen. De gemiddelde grondwaterstanden voor de afzonderlijke maanden zijn berekend. Aangezien het in figuur 9 dezelfde waarnemingen betreft als in figuur 4, zal de lijn in figuur 6 ook bij de punten in figuur 9 passen. In figuur 9 is in de afzonderlijke grafieken de lijn uit figuur 6 voor zover nodig weergegeven. Daartoe worden de afzonderlijke maandgrafieken zodanig in figuur 6 geplaatst dat het nulpunt voor de grondwaterstandsveranderingen langs een ordinaat door de bijbehorend gemiddelde grondwaterstandswaarde kan worden verschoven totdat de punten de best mogelijke aanpassing aan de lijn in figuur 6 hebben. De snijpunten van deze lijn met de ordinaten door het nulpunt voor de grondwaterstandsverandering geeft aan hoe groot de werkelijke verdamping was als maandgemiddelden over het tijdvak van waarneming.

#### 4.2. Het gebruik van vochtmetingen

Wanneer de gemeten vochtvoorraadveranderingen worden verrekend met de verschillen van neerslag en afstroming in dezelfde periode dan berekent men de werkelijke verdamping. Voor verschillende groepen van perioden kunnen ook daggemiddelden worden berekend. In figuur 10 is weergegeven hoe het daggemiddelde van de werkelijke verdamping in de afzonderlijke maanden volgens figuur 9 overeenkomt met het daggemiddelde, zoals dat met vochtmetingen berekend kan worden. In de maanden november tot en met maart, waarin de verdamping van geringe betekenis is, worden, vooral met vochtmetingen, negatieve verdampingswaarden gevonden. Dit kan een gevolg zijn van een onjuiste schatting van de afstroming. Overeenkomst tussen de voor de wintermaanden gevonden verdampingswaarden ontbreekt echter. De oorzaak hiervan moet worden gezocht in een ongelijke waardering van de vochtvoorraadverandering.

In de maanden april tot en met oktober is de overeenkomst als geheel genomen goed. In de afzonderlijke maanden is de werkelijke verdamping volgens de analyse van de grondwaterbeweging echter niet gelijk aan die volgens berekening met vochtcijfers.

Deze verschillen kunnen alleen door een ongelijke schatting van de maandgemiddelden van de vochtvoorraadveranderingen verklaard worden.

In figuur 11 zijn voor de afzonderlijke maanden de daggemiddelden in de betreffende perioden van de gemeten vochtvoorraadveranderingen uitgezet tegen die van de vochtvoorraadveranderingen, berekend uit de grondwaterstandsanalyse. Uit de ligging van de punten ten opzichte van een  $45^\circ$  lijn blijkt dat de afwijkingen in figuur 10 direct samenhangen met de ongelijkheid tussen gemeten en geschatte vochtvoorraadveranderingen. De gemiddelde samenhang in figuur 11 geeft echter aan dat, wanneer een toevallige spreiding wordt vereffend, de gemeten vochtvoorraadveranderingen gelijk zijn aan de geschatte. De ongelijkheid tussen de in figuur 10 vergeleken grootheden wordt veroorzaakt door toevallige verschillen, die het gevolg zijn van onnauwkeurigheden en meetfouten.

## 5. Verklaring van de gevonden verdampingscijfers

### 5.1. Grafische voorstelling van een verdampingstheorie

Voor het overdraagbaar maken van de gevonden maandgemiddelden voor de verdamping, wordt ervan uitgegaan dat de grootte van de werkelijke verdamping afwisselend wordt bepaald door hetzij de vochttoestand van de grond, hetzij de atmosferische verdamping.

Hoe met deze factoren de werkelijke verdamping toeneemt kan rechtlijnig worden weergegeven, maar de samenhang van de werkelijke verdamping met één van beide eigenschappen is verdwenen boven een bepaalde waarde van de andere. Deze relaties worden in figuur 12 schematisch weergegeven. Hoe de werkelijke verdamping ( $E_r$ ) toeneemt met de atmosferische verdamping ( $E_o$ ) wordt aangegeven door de constante  $g$ . De constante  $a$  geeft de samenhang aan tussen  $E_r$  en het vochtgehalte van de grond  $V$  nadat dit tot de macht  $m$  is verheven.

De afleiding van de waarde van de constanten  $g$ ,  $a$  en  $m$  komt tot stand in een grafische bewerking waarbij de gevonden waarden voor de werkelijke verdamping worden samengebracht met die voor de atmosferische verdamping en voor de vochttoestand van de grond. De constanten kunnen alleen direct worden bepaald wanneer zoveel gegevens beschikbaar zijn dat in perioden met gelijke atmosferische verdamping het vochtgehalte van de grond sterk genoeg uiteenloopt; of dat in perioden met gelijk vochtgehalte de spreiding in de waarden van de atmosferische verdamping groot genoeg is. Over het algemeen zal deze directe bepaling niet mogelijk zijn omdat te

weinig gegevens over de grootte van de werkelijke verdamping beschikbaar zijn. Dan moeten door correcties de twee tegen elkaar uitgezette variabelen worden herleid op een constante waarde voor de derde variabele. In figuur 12 is aangegeven dat deze correcties moeten bestaan uit een verticale en een horizontale verschuiving, die resulteert in een verplaatsing van het punt van de waarneming in een richting evenwijdig aan de schuine lijn. De verticale verschuiving is een correctie op de waarde van de werkelijke verdamping, de horizontale op de waarde van de atmosferische verdamping of van het vochtgehalte van de grond. De verhouding ertussen is gelijk aan de tangens van de hoek, die de schuine lijn met de abscis maakt.

Voor het onderhavige geval is de bewerking uitgevoerd met de gevonden maandgemiddelden voor de werkelijke verdamping, omdat de constante  $g$ , die in belangrijke mate aan het seizoen is gebonden, hierop een duidelijker invloed kan hebben gehad dan op de resultaten van een andere rangschikking van de gegevens.

## 5.2. Een schatting van maandgemiddelden van het vochtgehalte

Wanneer geen vochtmetingen werden verricht - hetgeen geen beletsel bleek te zijn om een schatting van de werkelijke verdamping te doen - dan moeten de vochtgehalten indirect worden bepaald voordat de in 5.1. bedoelde grafische bewerking kan worden uitgevoerd. Voor de schatting van de vochtgehalten die behoren bij de gevonden maandgemiddelden van de verdamping wordt ervan uitgegaan dat, wanneer in het voorjaar de verdamping de neerslag gaat overtreffen, evenwicht zal optreden tussen grondwaterdiepte en vochtgehalte. Dit zal bij de overgang van maart naar april het geval zijn. Aangenomen is verder dat het vochtgehalte in de bovenste 60 centimeter van het profiel bepalend is voor de grootte van de werkelijke verdamping.

In tabel 1 blijkt dat op grond van het onderzoek naar de bij verschillende vochtspanning behorende vochtgehalten het gemiddelde evenwichtsvochtgehalte in de laag 0 - 60 cm bij de gemiddelde grondwaterstand in maart van 97 centimeter onder maaiveld op 29% kan worden geschat.

Tabel 1. Schatting van evenwichtsvochtgehalte in de laag 0-60 cm bij grondwaterdiepte van 97 cm

a	b	c	d	e	f
4 - 10	90	1,95	42,3	26,0	27,6
13 - 19	81	1,91	40,8	27,3	29,7
20 - 26	74	1,87	39,8	22,0	26,6
27 - 33	67	1,82	34,5	22,6	27,0
32 - 37	62	1,79	33,2	22,4	26,9
37 - 42	57	1,76	37,1	27,7	32,0
40 - 56	39	1,69	37,8	29,0	34,5
gemiddeld					29,0

a = bemonsteringsdiepte

b = gemiddelde hoogte boven grondwaterstand van 97 cm

c = vochtspanning bij evenwichtstoestand

d = vochtgehalte bij pF 1,5

e = " " pF 2,0

f = vochtgehalte volgens rechtlijnige interpolatie bij vochtspanning sub c.

Met behulp van figuur 6 kunnen de verschillen in de vochtinhoud van het profiel bij de gegeven maandgemiddelden voor de grondwaterstand gemakkelijk worden uitgemeten. Aangenomen is dat  $\frac{3}{4}$  deel van deze vochtinhoudveranderingen in de laag 0-60 cm plaats hebben. Eénzesde deel van de vochtvoorraad-veranderingen in deze laag geeft de verandering van het gemiddelde vochtgehalte ervan aan.

In tabel 2 is de herekening gegeven van de vochtgehalten in de laag 0-60 cm, die in de in 5.1. bedoelde grafische bewerking zullen worden betrokken.



Tabel 2. Berekening van de vochtgehalten in de laag 0-60 cm

a	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober
b	97	99	107	136	154	152	146	146
c	0	-4	-16	-56	-83	-80	-72	-72
d	0	-0 <sup>5</sup>	- 2	- 7	-10 <sup>5</sup>	-10	- 9	- 9
e	29	28 <sup>5</sup>	27	22	18 <sup>5</sup>	19	20	20
f	29	27	25	19 <sup>5</sup>	17	19 <sup>5</sup>	20 <sup>5</sup>	21

a = maand

b = gemiddelde grondwaterdiepte

c = vochtvoorraadverandering t.o.v. maart

d = vochtgehalteverandering in de laag 0-60 cm t.o.v. maart

e = gemiddeld vochtgehalte in de laag 0-60 cm

f = als e, volgens vochtmetingen met neutronensonde.

Uit de vergelijking met de gemeten vochtgehalten blijkt dat het beloop van het vochtgehalte in de laag 0-60 cm op eenvoudige wijze vrij nauwkeurig gereconstrueerd kan worden.

### 5.3. De waarde van de constanten voor de verdampingsberekening

In Bijlage 2 zijn de berekeningen gegeven, die nodig zijn om de constanten  $g$ ,  $a$  en  $m$  voor het bestudeerde geval vast te stellen. De maandgemiddelden van de atmosferische verdamping zijn berekend uit de gegevens in de maandelijkse weeroverzichten van het K.N.M.I. te De Bilt. De gecorrigeerde waarden van werkelijke verdamping ( $E_r$ ), atmosferische verdamping ( $E_o$ ) en vochtgehalte van de laag 0-60 cm ( $V$ ) zijn metrisch of logaritmisch tegen elkaar uitgezet in figuur 13. De bewerking is uitgevoerd voor de maanden april tot en met oktober, terwijl de cijfers van september en oktober zijn gemiddeld omdat ze afzonderlijk nogal afwijkend lijken te zijn.

Uit figuur 13 c blijkt dat het met het beperkt aantal bewerkte gegevens niet mogelijk is om de grootte van de constante  $m$  zelfstandig te bepalen. Daarom werd op grond van vroegere ervaringen aangenomen dat  $m = 3$ . Bij deze waarde blijkt in figuur 13 de waarde  $a = 0,00029$  te passen, terwijl  $g = 0,81$  wordt gevonden.

De waarnemingen in figuur 13 liggen niet op de lijnen die door  $g E_0$  of  $aV^m$  worden beschreven. Daarom zal de berekening van de werkelijke verdamping als de laagste waarde van  $0,81 \times E_0$  en  $0,00029 \times V^3$  een afwijking geven ten opzichte van de gevonden cijfers, waarvan de gemiddelde grootte in millimeters per dag in figuur 13 kan worden teruggevonden. Dit is een bij voorbaat vaststaand gevolg van de vereffening door de bewerking in Bijlage 2. Bij deze vereffening gaat men ervan uit dat de spreiding, die om de lijnen overblijft, toevallig is. Voor dat men zich aan een reconstructie van het beloop van de werkelijke verdamping waagt, dient men zich af te vragen of dit juist is. Wanneer men bijvoorbeeld in figuur 13c de maanden aangeeft - zie figuur 14 - dan valt het op dat er een regelmaat is in de ligging van de punten om de lijnen. Er moet rekening worden gehouden met de waarschijnlijkheid dat vooral de constante  $g$  in de loop van het jaar een verandering ondergaat, temeer omdat het hier een bouwland betreft. De waarde voor  $g$  die gevonden is, geldt dan slechts als gemiddelde voor de maanden waarover de vereffening plaats had. Verwacht mag worden dat door een in de loop van de zomer toenemende gewasontwikkeling zowel boven- als ondergronds de waarde van  $g$  zal toenemen. Dat deze waarde in de maanden juni en juli een optimum bereiken, is geen gedurfde veronderstelling. De beperking van de verdamping door uitdroging van de grond zal ook in deze maanden actueel worden en bevorderen dat afrijping optreedt, waardoor de waarde van  $g$  zal dalen. In de herfst zal door verbouwen van stoppelknollen na granen en door herstel van hakvruchten na droogte in de zomer weer een stijging kunnen optreden.

Op grond van de voorafgaande overwegingen lijken de waarden voor  $g$  en  $a$  het beste te kunnen worden gekozen zoals figuur 14 aangeeft. De waarde van  $g$  is daarbij veranderlijk, terwijl  $a = 0,00036$ . Deze waarde geeft aan, dat bij een verdampingsintensiteit van bijvoorbeeld 3 mm per etmaal een vochtgehalte van 20% in de laag 0-60 cm al een beperking vormt.

## 6. Reconstructie van het beloop van de werkelijke verdamping

### 6.1. Een voorbeeld van de verdampingsberekening

In Bijlage 3 is een voorbeeld gegeven van de berekening die wordt uitgevoerd om het beloop van de verdamping te reconstrueren. Het betreft hier 1962.

Met de  $g$ -waarden volgens figuur 14 is  $gE_0$  (kolom 4) berekend uit de  $E_0$  waarden die op Bijlage 1 voor de balansperioden in 1962 zijn opgegeven. De dagwaarden van  $E_0$  worden vermenigvuldigd met het aantal dagen in de perioden (kolom 2) en afgetrokken van de hoeveelheid neerslag minus afstroming (kolom 3). Het verschil geeft de vochtvoorraadveranderingen in de periode aan (kolom 5). Deling door zes en vermenigvuldiging met drie-vierde geeft aan hoeveel het gemiddeld vochtgehalte in de laag 0-60 cm daalt.

De berekeningen beginnen in de eerste periode van de vierde maand. In de tweede periode van de vierde maand begon de overschrijding van de neerslag door  $n \times gE_0$  en daarom wordt het vochtgehalte aan het eind van de periode aangenomen 29% te zijn. Voor de volgende perioden wordt nu berekend hoe het vochtgehalte in de laag 0-60 cm verandert (kolom 6) als  $E_r = gE_0$ . Ook kan dit vochtgehalte aan het begin van de vierde periode door terugrekenen worden gevonden. Uit ieder gevonden vochtgehalte wordt  $E_r = aV^m$  berekend (kolom 7) evenals het gemiddelde  $\overline{aV^m}$  van  $aV^m$  aan begin en eind van de perioden (kolom 8).

In het voorbeeld is in de tweede periode in de zesde maand de verdamping onder beperking van het vochtgehalte lager dan  $gE_0$ . Met  $E_r = \overline{aV^m}$  wordt opnieuw berekend hoe in deze periode de vochtinhoud van het profiel en het vochtgehalte in de laag 0-60 cm verandert (kolommen  $5_1^1$  en  $6_1^1$ ). Aangezien ook de hieruit volgende waarde van  $E_r = \overline{aV^m}$  (kolom  $8_1^1$ ) lager is dan  $gE_0$  wordt voor de eerste periode in de zevende maand de gehele berekening uitgevoerd met  $E_r = \overline{aV^m}$  (kolom  $7_1^1$ ) waarvoor de waarde aan het eind van de vorige periode wordt genomen. Dit is namelijk de verdampingsintensiteit aan het begin van eerste periode in de zevende maand. Het is afhankelijk van de verandering van het vochtgehalte in deze periode of de gemiddelde verdamping  $\overline{aV^m}$  hoger of lager uitvalt. Na de berekening is dit bekend en de berekening wordt voor dezelfde periode herhaald met deze gemiddelde waarde (kolommen  $5_2^1$ ,  $6_2^1$  en  $7_2^1$ ). De tweede schatting van  $E_r = \overline{aV^m}$  (kolom  $8_2^1$ ) valt over het algemeen

weinig hoger of lager uit en het heeft weinig zin om de berekening nogmaals te herhalen.

Voor de volgende perioden wordt de berekening uitgevoerd met één herhaling, zoals hierboven is aangegeven. Wanneer de tweede schatting van  $\overline{E_r} = a\overline{V^m}$  hoger uitvalt dan  $gE_o$  dan gaat de berekening verder met  $E_r = gE_o$ . In het voorbeeld is dit in de tweede periode in de achtste maand het geval.

In figuur 15 is voor de drie bestudeerde jaren het berekende verloop van  $gE_o$  en  $a\overline{V^m}$  weergegeven. Volgens de verdampingstheorie, waarvan in 5.1. de beginselen summier zijn beschreven, moet de laagste van beide waarden als de werkelijke verdamping worden beschouwd. Op dezelfde wijze kan voor ieder willekeurig jaar waarin gegevens over neerslag en open-waterverdamping bekend zijn, de werkelijke verdamping worden berekend.

## 6.2. Een toetsing aan het gereconstrueerde beloop van de grondwaterdiepte

De vochtvoorraadveranderingen in kolom 5 en  $5_2^1$  op Bijlage 3 kunnen ook worden gebruikt om met behulp van figuur 6 het beloop van de grondwaterdiepte te reconstrueren. Overeenkomstig de uitgangspunten in 5.2. zou immers de grondwaterdiepte aan het eind van de tweede periode in de vierde maand - toen het vochtgehalte in de laag 0-60 cm op 29 werd gesteld - 97 centimeter moeten bedragen. Figuur 6 laat aflezen welke grondwaterdiepten aan het eind van de volgende perioden optreden, nadat de gegeven vochtvoorraad-verandering in rekening is gebracht. Deze zijn ook het uitgangspunt voor de berekening van de verdamping en volgen weer uit de berekende verdampingswaarden. Systematische verschillen tussen het gereconstrueerde en het gemeten beloop van de grondwaterdiepte zouden op een systematische fout in de verdampingsberekening kunnen wijzen.

In kolom 9 op Bijlage 3 zijn de grondwaterdiepten genoteerd zoals ze uit de vochtvoorraadveranderingen in de kolommen 5 en  $5_2^1$  kunnen worden gereconstrueerd.

Volledigheidshalve is nog een reconstructie van het beloop van de grondwaterdiepte uitgevoerd, waarvoor de verdamping werd berekend met de gemiddelde waarden  $g = 0,81$  en  $a = 0,00029$ , die in figuur 13 werden gevonden.

In tabel 3 is voor beide berekeningen opgegeven hoe groot de afwijking  $S = \sqrt{\frac{\Delta^2}{n-1}}$  tussen gemeten en gereconstrueerde grondwaterdiepte is. Verder zijn de correlatiecoëfficiënten  $r$  en de coëfficiënten  $a$  en  $b$  voor rechtlijnige regressie berekend, waarbij is uitgegaan van de veronderstelling dat de intrinsieke onbetrouwbaarheid van beide grootheden even groot is (DE JONGE, 1958). Zou men uitgaan van de veronderstelling dat de gemeten grondwaterstanden foutloos zijn dan blijkt, dat de waarden van  $b$  slechts  $\pm 0,02$  lager en die van  $a$  slechts  $\pm 2,0$  hoger uitvallen.

Tabel 3. Uitkomsten van regressieberekening

g = 0,81 a = 0,00029					g = veranderlijk a = 0,00036			
	S	r	b	a	S	r	b	a
1962	14,9	0,98	0,83	13,5	10,9	0,97	0,9	9,5
1963	14,05	0,96	0,69	46,5	11,7	0,92	0,81	25,2
1964	14,03	0,91	0,74	32,2	14,7	0,90	0,76	28,5
Gem.	14,33	0,95	0,75	30,7	12,4	0,93	0,82	21,1

Hoewel de overigens hoge correlatiecoëfficiënten bij toepassing van figuur 14 iets lager zijn dan bij berekening met de gemiddelde waarden voor  $g$  en  $a$ , blijkt toch dat toepassing van figuur 14 een betere aanpassing aan de  $45^\circ$  lijn in figuur 16 geeft. Dat hiermee echter een reconstructie van het beloop van de verdamping is gegeven, die principieel geheel juist is, moet echter wel worden betwijfeld. Dat blijkt wel uit de verschillende wijze waarop in de afzonderlijke jaren de gereconstrueerde grondwaterdiepten overeenkomen met de gemeten diepten. De oorzaak hiervan zal kunnen zijn dat in de afzonderlijke jaren door verschillende gewassen de waarde van  $g$  en misschien ook van de constante  $a$ , een verschillend beloop zal vertonen.

Correcties op de gevonden verdampingscijfers kunnen uit verschillen tussen gemeten en gereconstrueerde grondwaterdiepten niet worden afgeleid. In deze verschillen is immers behalve in de verdampingsberekening optredende fouten, ook de som van fouten in regenmeting en grondwatermeting verzameld. Zou men de verschillen in correcties op de verdamping omrekenen, dan zouden deze fouten in de verdampingscijfers terecht komen.

## 7. Conclusies

Aangetoond is dat met eenvoudige gegevens een belangrijk praktisch inzicht in het verschijnsel van de verdamping van bodem en gewas kan worden verkregen. Dat het vaststellen van de verdampingsintensiteit in de wintermaanden in het bestudeerde geval niet lukte, is het gevolg van een nauwkeurigheidsbeperking, die zeker niet het kenmerk van de gevolgde techniek is.

Het wat veelvuldiger meten van de grondwaterdiepte en het tegelijkertijd opmeten van sloot- of beekwaterstanden zou deze beperking vermoedelijk opheffen, zonder dat hierdoor de analyse gecompliceerder wordt. De eenvoud hiervan maakt het aantrekkelijk om het mechanisch uitwerken ervan zoveel mogelijk te bevorderen. Hierdoor zou het onderzoek in deze vorm een grotere uitbreiding kunnen krijgen. Van meer belang lijkt dit nog te zijn doordat niet alleen de kennis van de grootte van de werkelijke verdamping erdoor toeneemt, maar ook die van factoren die in de afvoerproblematiek van belang zijn, zoals het bergend vermogen bij gegeven grondwaterstand of de afstromingsintensiteit bij gegeven berging.

De bestudeerde zandgrond vertoonde een duidelijke samenhang tussen de grondwaterdiepte en de vochtinhoud, hetgeen voor het slagen van de analyse van groot belang is. Dit werd ongetwijfeld bevorderd doordat de bewerkte gegevens in nogal regenrijke jaren werden verzameld, zodat in dit profiel de voorwaarden voor het behoud van een goede capillaire doorlatendheid gunstig bleven. Of de mogelijkheden voor een soortgelijke analyse voor andere gronden of met gegevens die in droge jaren verzameld werden, altijd even groot zijn, mag worden betwijfeld.

Literatuur

- BLOEMEN, G.W. 1966. The calculation of evapotranspiration from ground-water depth observations. Versl. en Med. Com. Hydrol. Onderz. T.N.O. 12, 45-71. Techn. Bull. I.C.W. no. 46.
- COLENBRANDER, 196. : te publiceren als deelrapport in het interimrapport over het Leerinkbeekgebied van de Commissie ter bestudering van de waterbehoefte van de Gelderse landbouwgronden, Werkgroep 1.
- JONGE, H. de, 1960. Inleiding tot de medische statistiek Deel II. Nederlands Instituut voor Preventieve Geneeskunde XLI Leiden Par. 20.4. pag. 543
- VISSER, W.C. 1964. Moisture requirements of crops and rate of moisture depletion of the soil. Institute for Land and Water Management Research, Techn. Bulletin 32.

**Bijlage 1. Belangrijkste gegevens die op de bestudeerde grond betrekking hebben**

[illegible]



Bijlage 2. Berekeningen voor de grafische afleiding van de constanten g en a

Maand	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	$E_0$	$V$	$E_r$	$\log E_0$	$\log V$	$\log E_r$	$\log \bar{V} - \log V$	$3(\log \bar{V} - \log V)$	$\frac{\text{figuur 14+af.}}{4+8}$	$\frac{14+af.}{6+8}$	$\log E_0$	$\log gE_0$	$\log gE_0 - \log gE_0$	$\frac{\log gE_0 - \log gE_0}{m}$	$\frac{\text{figuur 14+af.}}{6+13}$	$\frac{14+af.}{5+14}$
april	2,4	28 <sup>5</sup>	1,8	0,3602	1,4548	0,2553	- 0,1148	- 0,3444	0,0358	-0,0991	1,92	0,2833	0,0417	0,0139	0,2970	1,4687
mei	3,0	27	2,6	0,4771	1,4314	0,4150	- 0,0914	- 0,2742	0,2029	0,1408	2,4	0,3802	-0,0552	- 0,0184	0,3600	1,4130
juni	3,75	22	3,4	0,5740	1,3424	0,5315	- 0,0024	- 0,0072	0,5668	0,5243	3,0	0,4771	-0,1521	- 0,0507	0,3797	1,2917
juli	3,4	18 <sup>5</sup>	2,1	0,5315	1,2672	0,3222	0,0728	0,2184	0,7499	0,5406	2,72	0,4346	-0,1094	- 0,0365	0,2128	1,2307
aug.	2,75	18 <sup>5</sup>	1,6	0,4393	1,2672	0,2041	0,0728	0,2184	0,6577	0,4225	2,2	0,3424	-0,0174	- 0,0058	0,1867	1,2614
sept.	1,38	20	0,9992	1,3010	0,0353	0,0390	0,0390	0,1170	0,2162	0,0817	1,10	0,0434	0,2816	0,0937	0,2463	1,3947
okt.																
-----																
Maand	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27					
	$V^m$	$\bar{E}_0 - E_0$	$g(\bar{E}_0 - E_0)$	$g(\bar{E}_0 - E_0)$	$3 + 19$	$17 + 20$	$\bar{V}^m - V^m$	$a(\bar{V}^m - V^m)$	$a(\bar{V}^m - V^m)$	$\frac{a(\bar{V}^m - V^m)}{g}$	$1 + 25$					
april	23420	0,1	0,08	277	1,88	23397	-10620	- 3,11	- 3,89	- 1,31	- 1,49					
mei	19700	-0,5	-0,4	-1385	2,2	18315	- 7200	- 2,09	- 2,61	+ 0,51	+ 0,39					
juni	10640	-1,25	-1,0	-3460	2,4	7180	1860	0,54	0,67	+ 3,94	+ 4,42					
juli	6240	-0,9	-0,7	-2420	1,4	3920	6160	1,79	2,24	+ 3,89	+ 5,64					
aug.	6240	-0,25	-0,2	- 692	1,4	5650	6160	1,79	2,24	+ 3,39	+ 4,99					
sept.	8600	1,12	0,9	3110	1,82	11710	3900	1,13	1,41	+ 2,06	+ 2,79					
okt.																



fig. 1

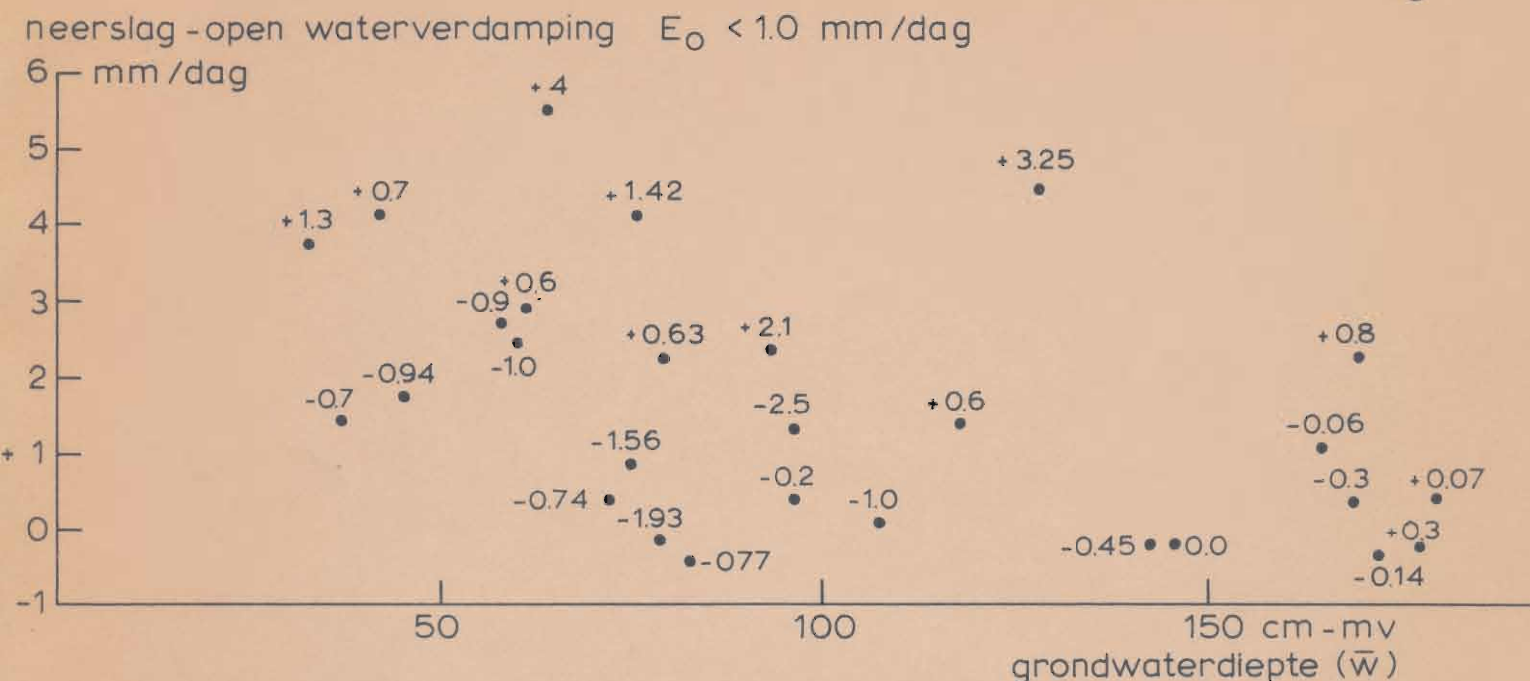


Fig. 1 Het daggemiddelde van de neerslag minus de open waterverdamping uitgezet tegen de grondwaterdiepte in dezelfde periode. De daggemiddelden van de grondwaterstandsverandering in de perioden zijn bij de punten aangegeven.

fig. 2

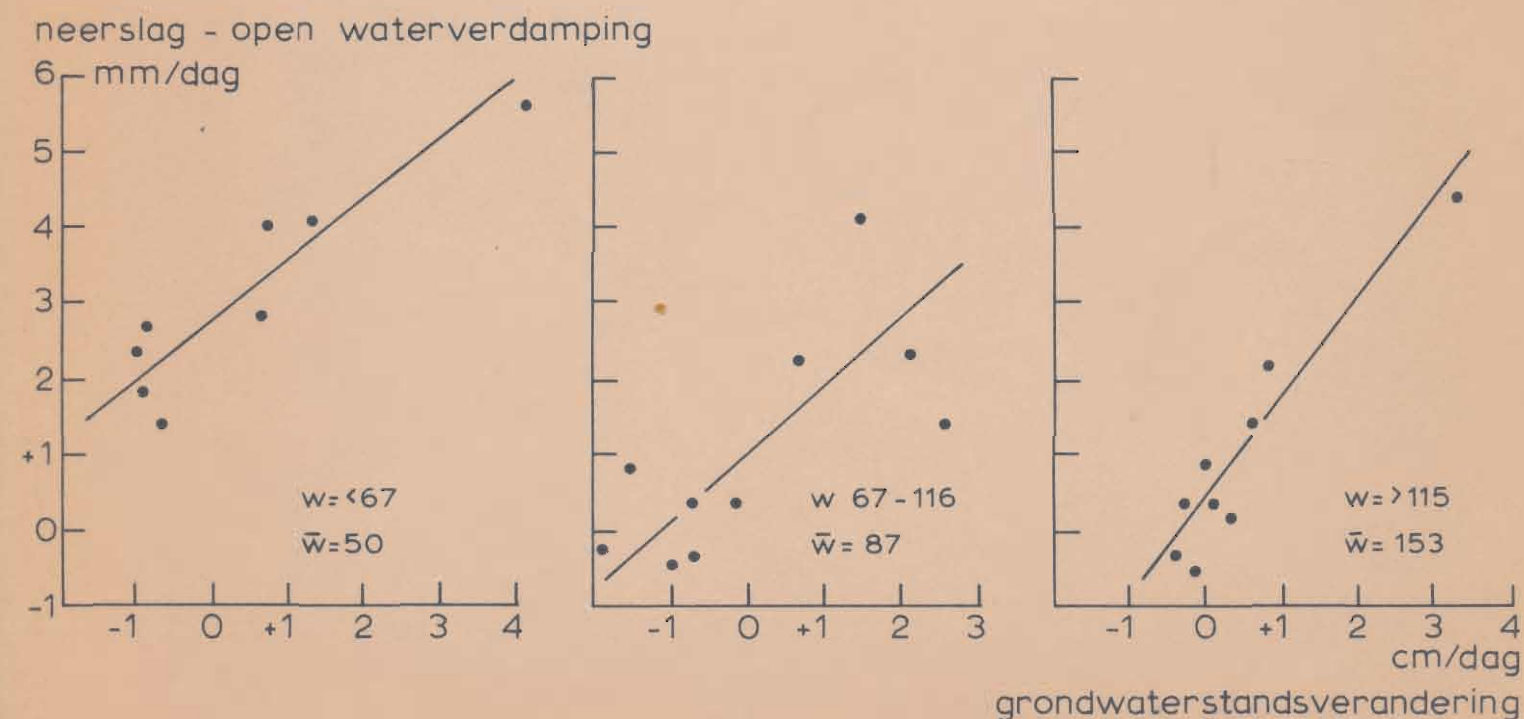


Fig. 2 De daggemiddelden van de neerslag minus open waterverdamping uitgezet tegen de daggemiddelden van de grondwaterstandsverandering. Perioden met ongeveer dezelfde grondwaterdiepte zijn samen genomen.

neerslag {  
 -open waterverdamping  
 -bergingsverandering  
 mm/dag

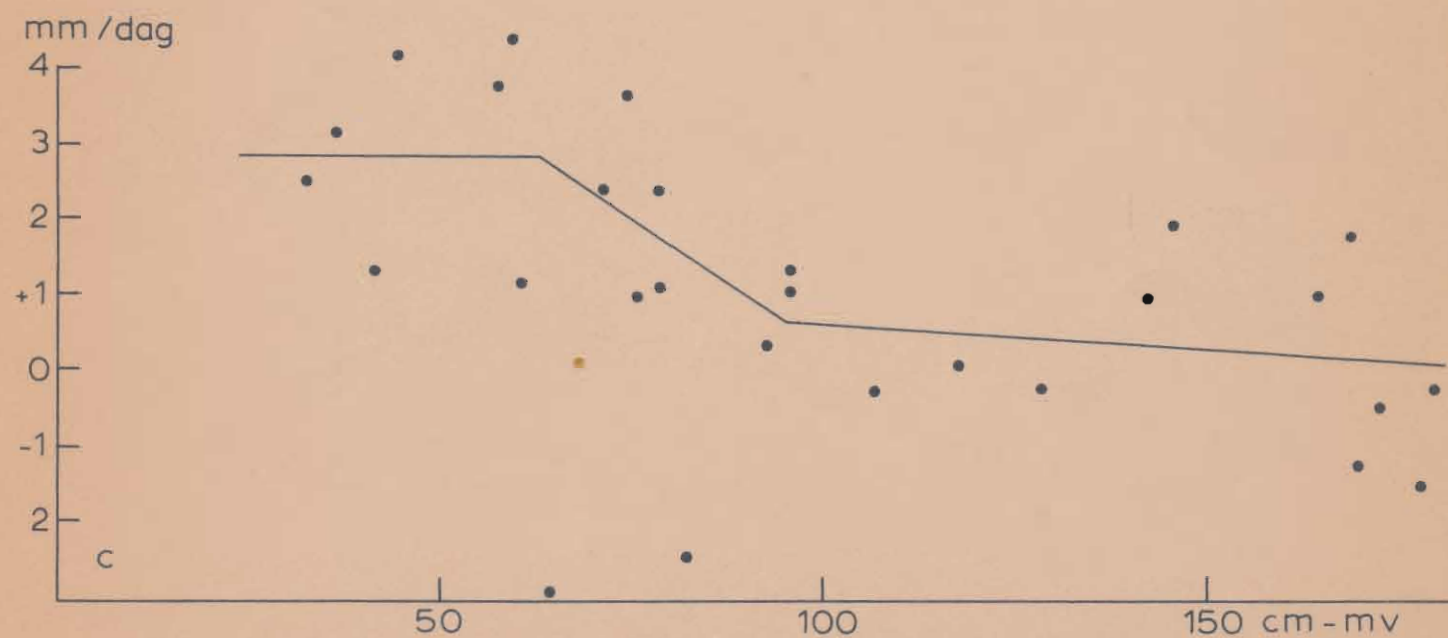
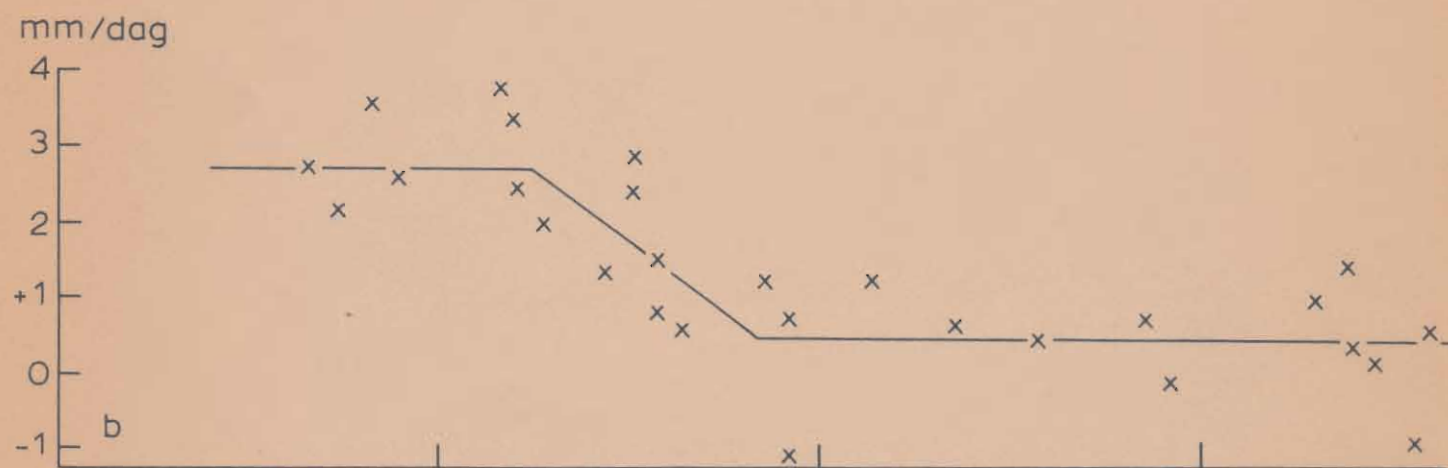
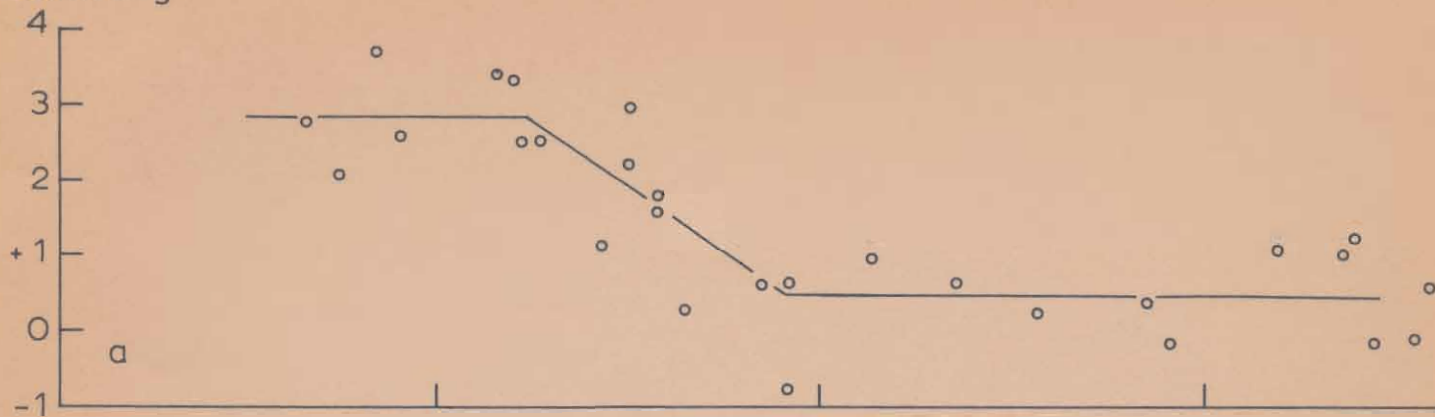


Fig. 3 Het op bergingsveranderingengecorrigeerde overschot van de neerslag op de verdamping in de wintermaanden uitgezet tegen de grondwaterdiepte  
 a. met bergingscoëfficiënten volgens fig. 2  
 b. met bergingscoëfficiënten volgens fig. 4  
 c. met bergingsveranderingen volgens vochtmetingen

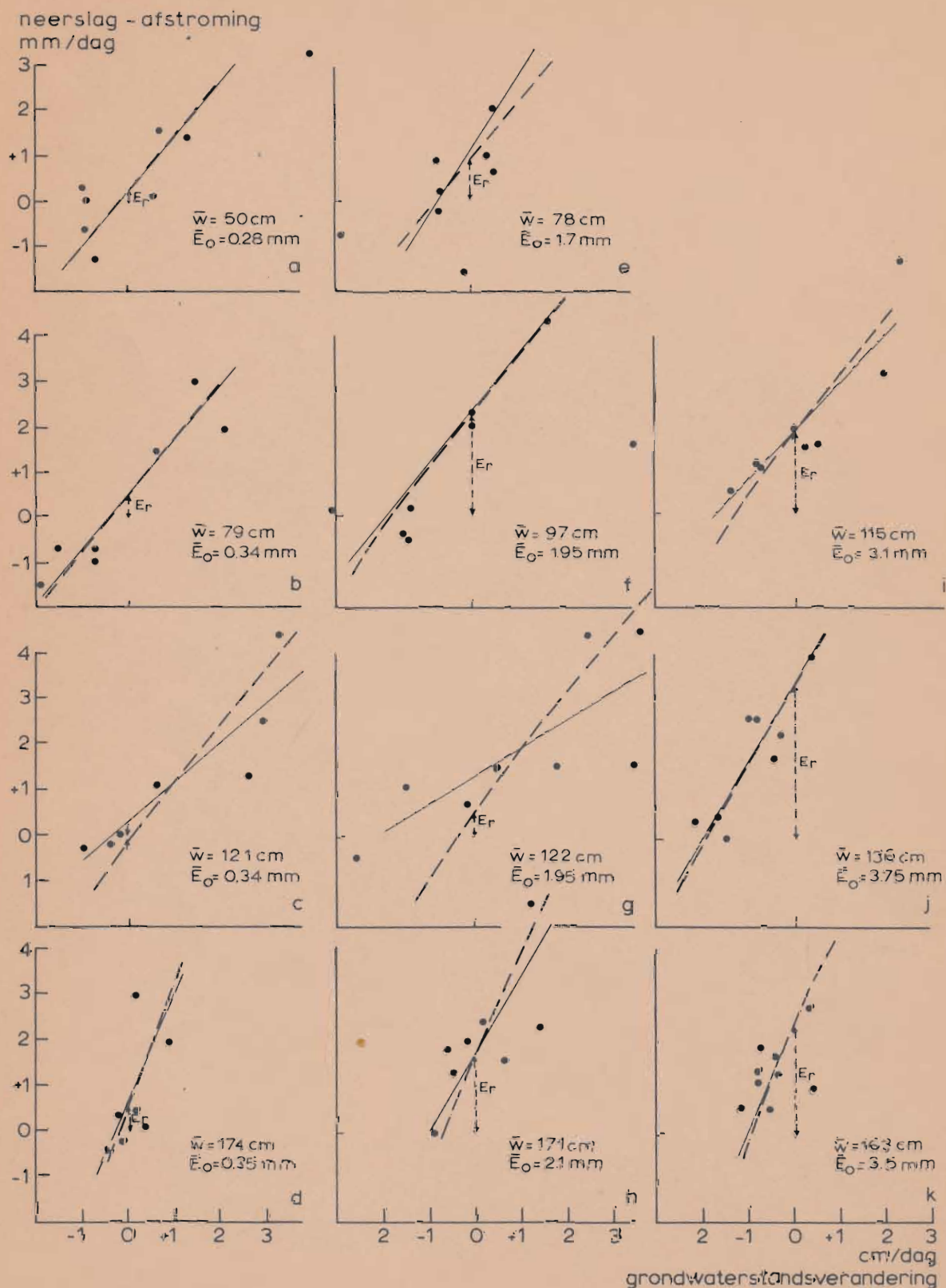


Fig. 4 Samenhang tussen neerslag verminderd met de afstroming en de grondwaterstandsveranderingen in dezelfde perioden. De beschikbare gegevens zijn opgedeeld in groepen met een zo klein mogelijke variatie in grondwaterdiepte en atmosferische verdamping.



Fig. 5 De grafieken in fig. 4 zodanig ten opzichte van elkaar verschoven dat de punten zo dicht mogelijk om een denkbeeldige lijn liggen.



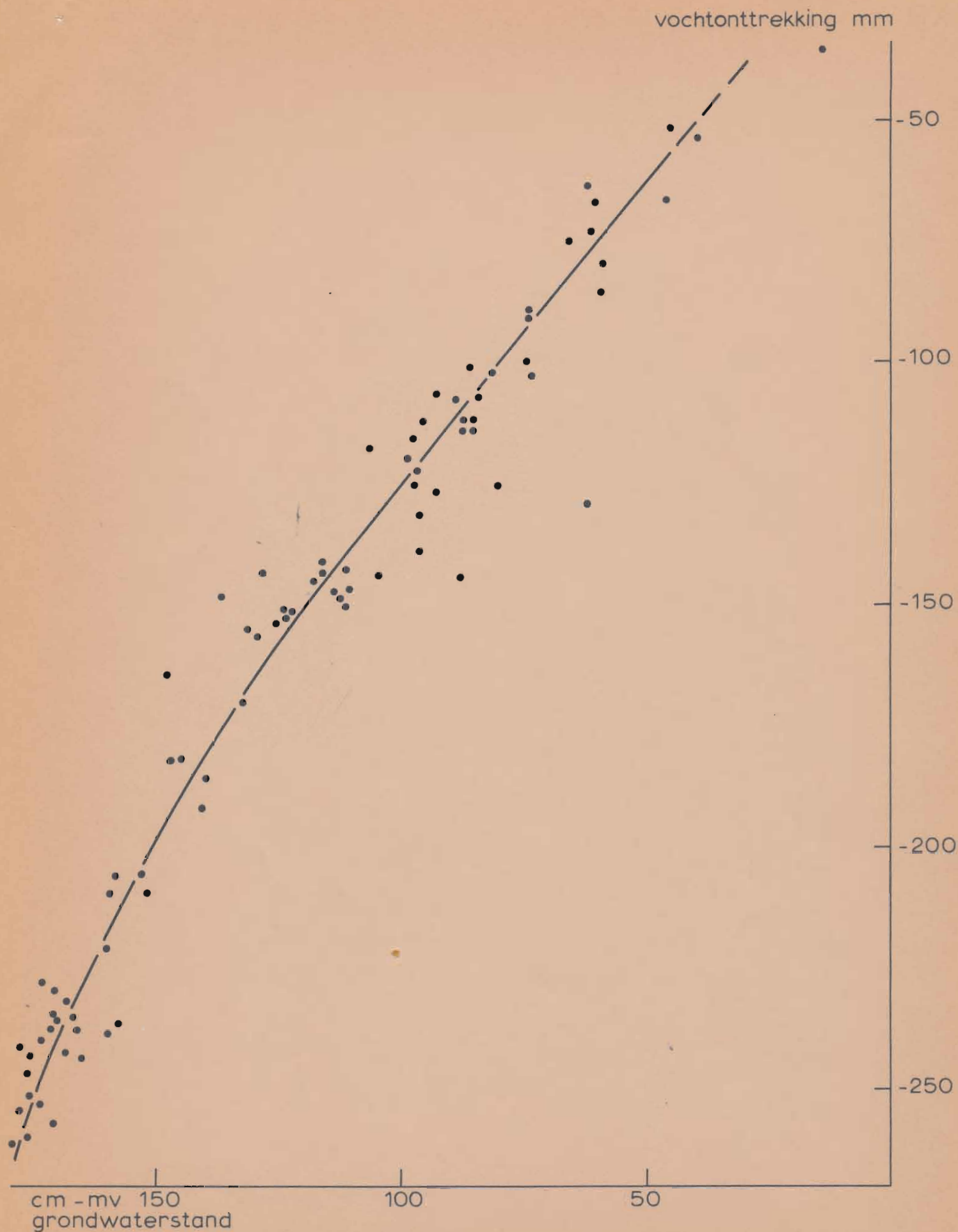


Fig. 6 Het resultaat van de integratie van fig. 4.

vochtinhoud tot 260 cm-mv  
900 mm

fig. 7

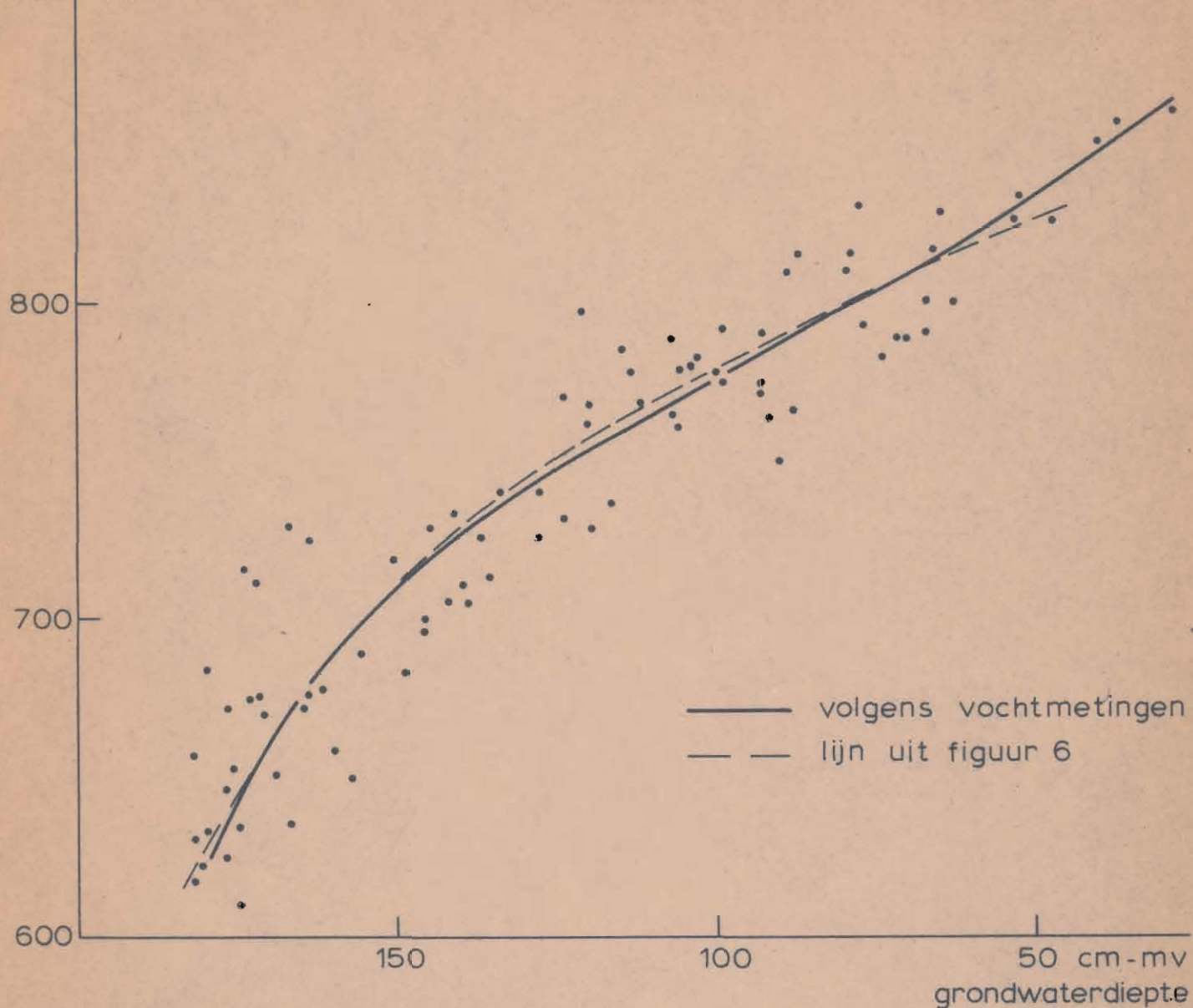


Fig. 7 De samenhang tussen grondwaterdiepte en vochtinhoud volgens vochtmetingen met de neutronensonde.



fig. 8

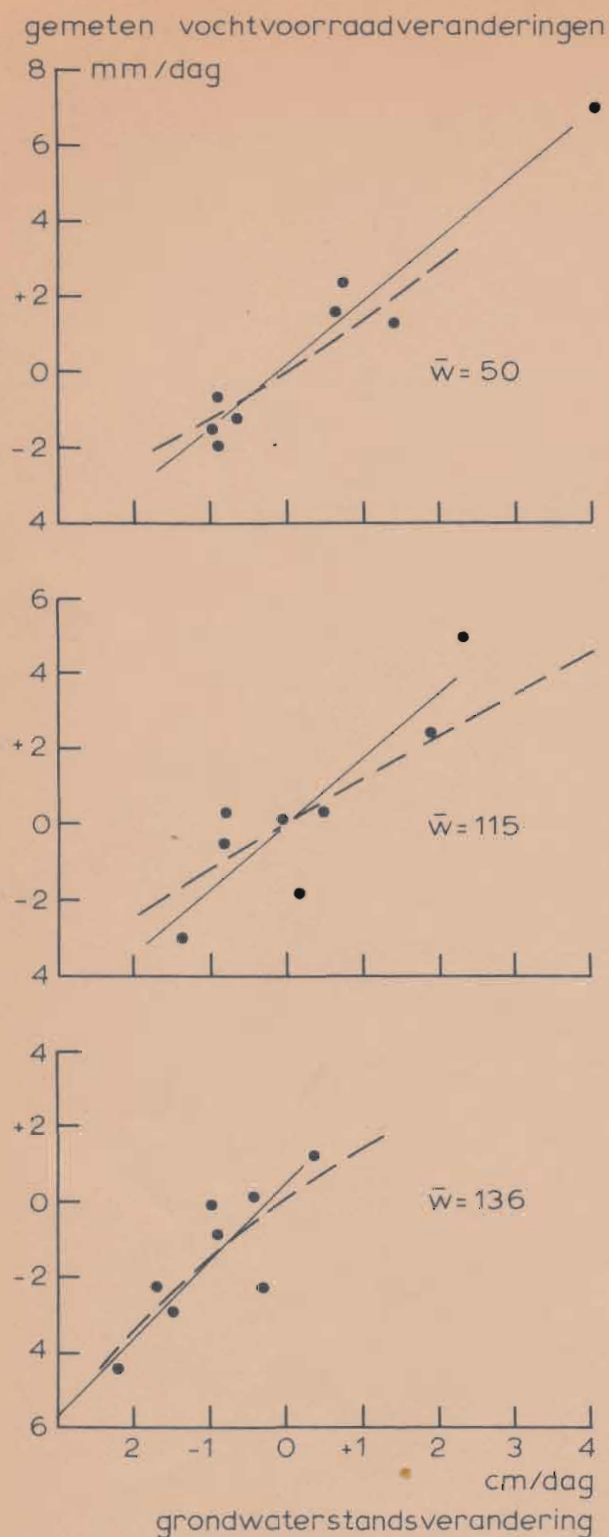


Fig. 8 De daggemiddelden van de gemeten vochtvoorraadveranderingen uitgezet tegen de daggemiddelden van de grondwaterstandsveranderingen in dezelfde perioden. Perioden met ongeveer gelijke grondwaterdiepte zijn tesamen genomen.

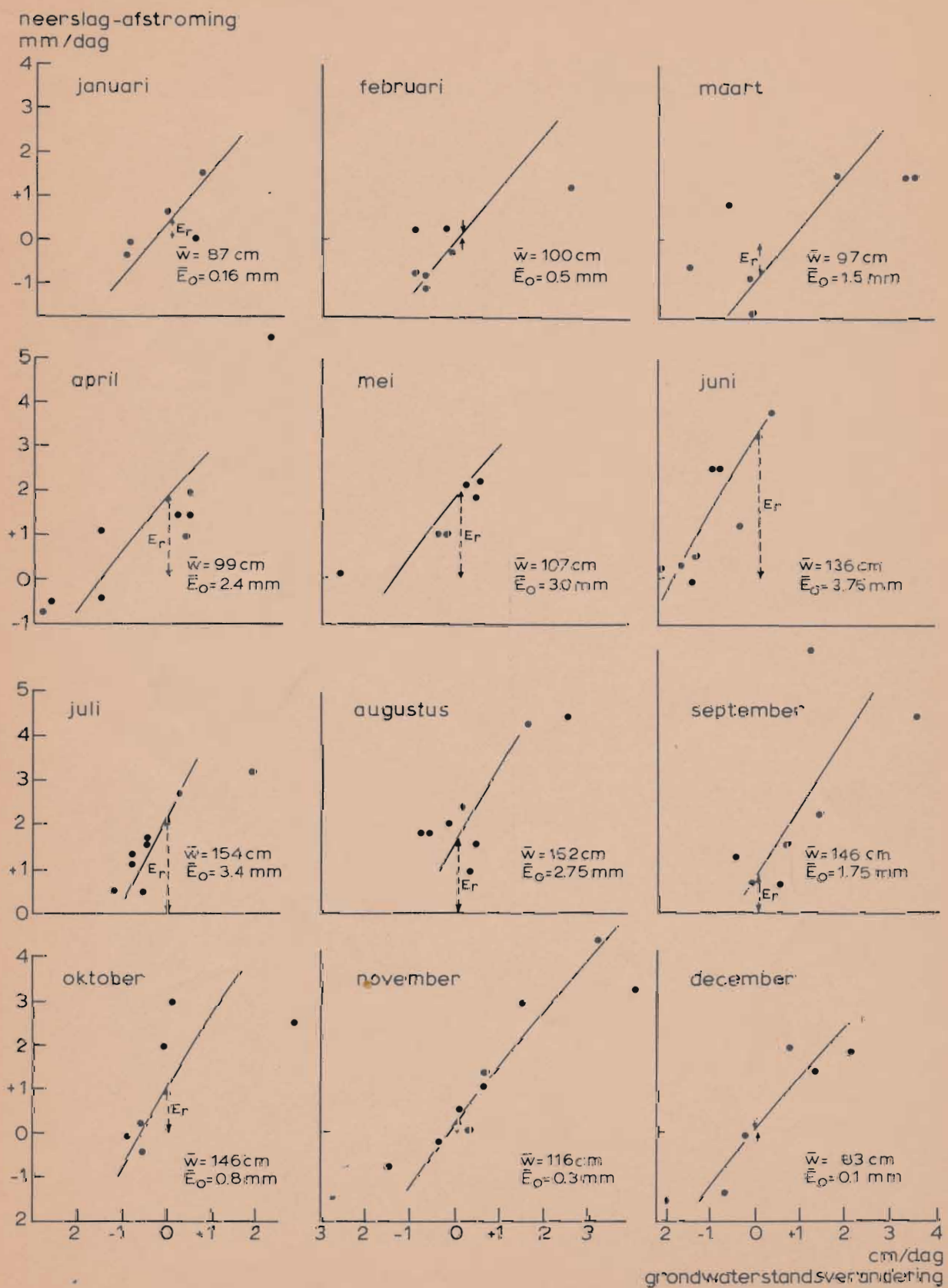


Fig. 9 Samenhang tussen neerslag verminderd met de afstroming en de grondwaterstandsverandering in dezelfde perioden. De beschikbare gegevens zijn per maand gerangschikt.

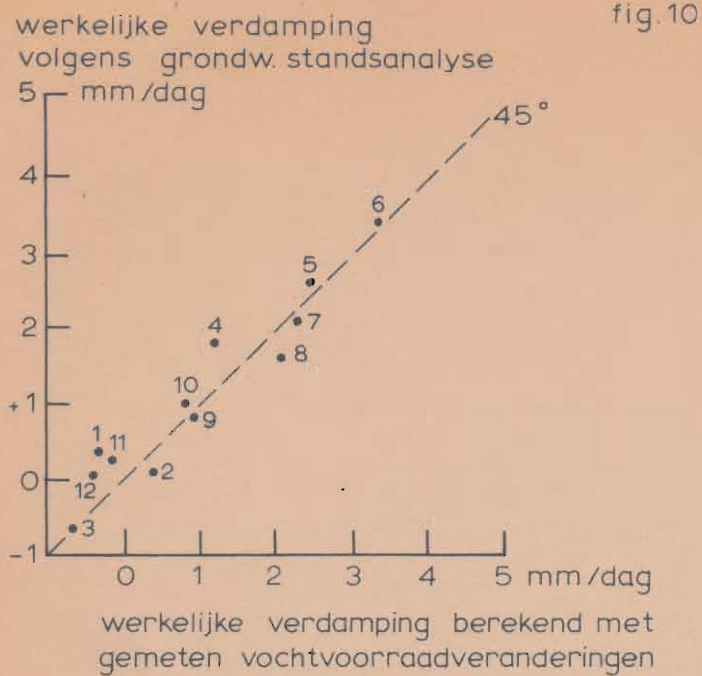


Fig. 10 De werkelijke verdamping, afgeleid uit de grondwaterstands-analyse, vergeleken met die, berekend met gemeten vocht-voorraadveranderingen.

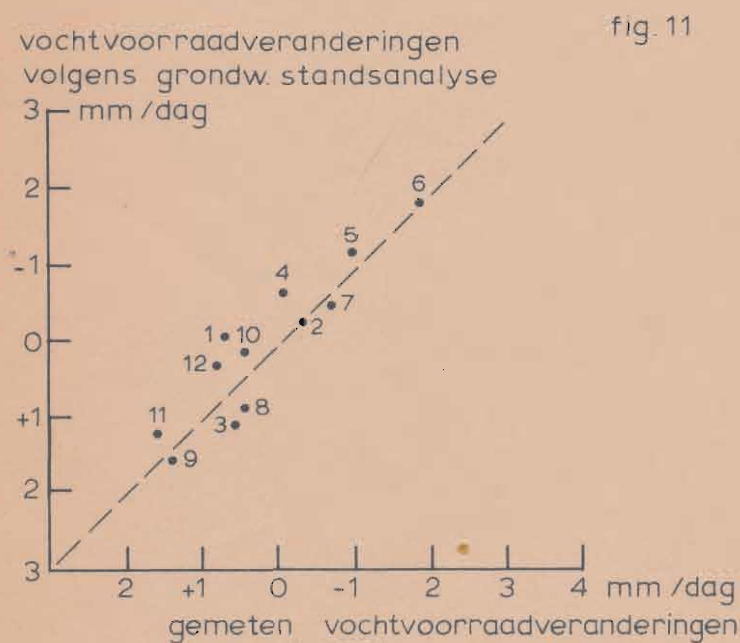


Fig. 11 De vochtvoorraadveranderingen volgens de grondwaterstands-analyse vergeleken met de gemeten vochtvoorraadverande-ringen.



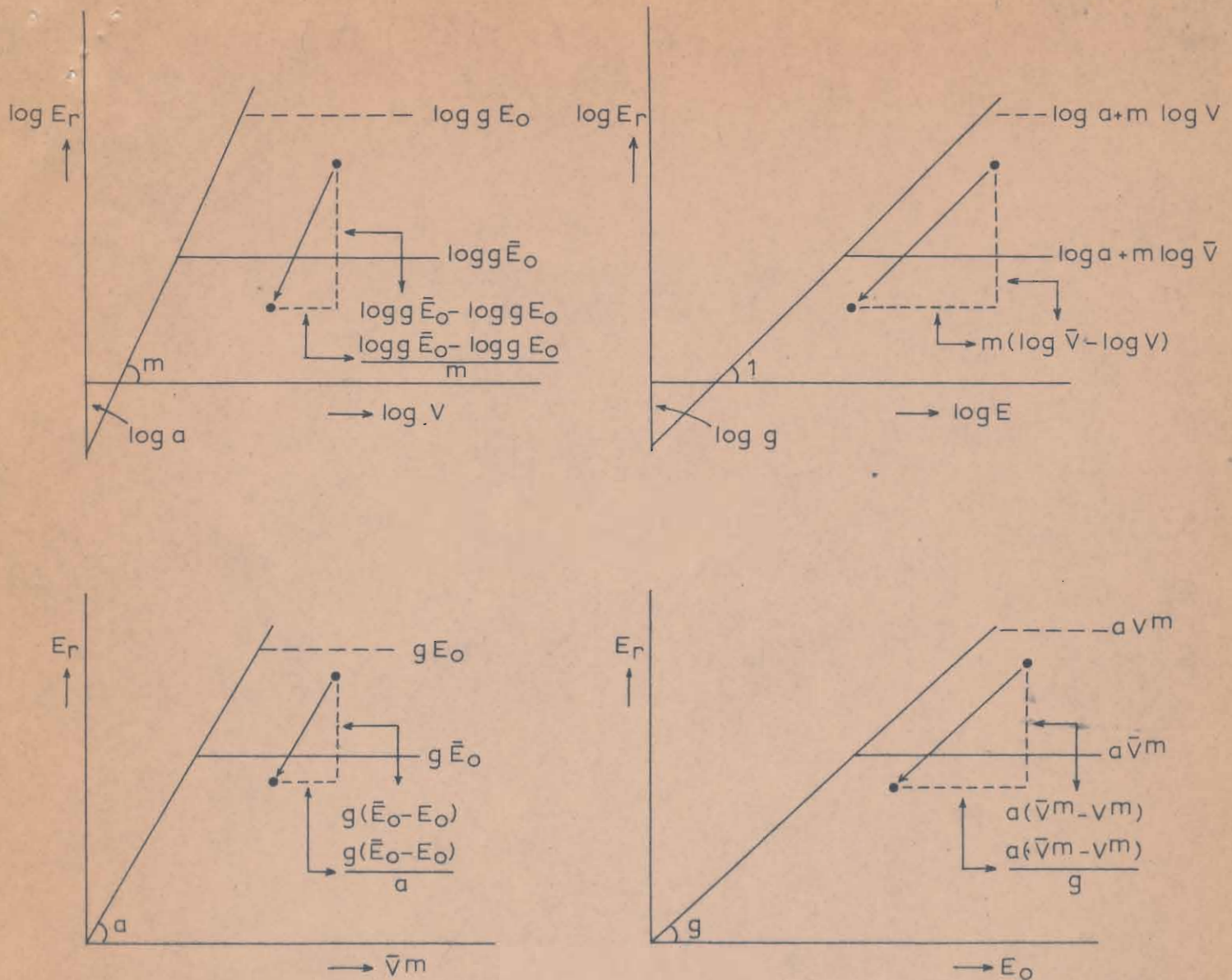
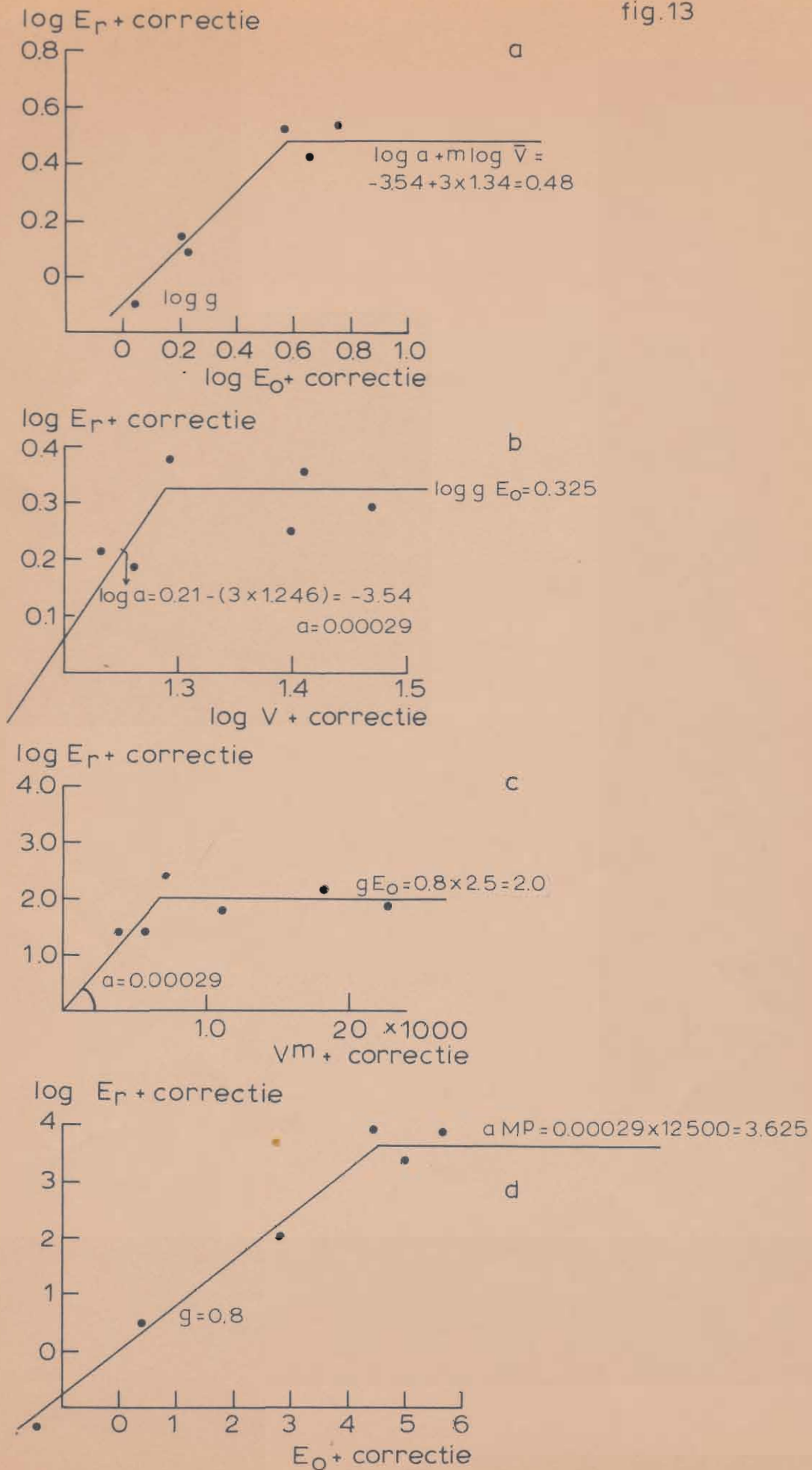


Fig. 12 Schematische voorstelling van de samenhang van de werkelijke verdamping ( $E_r$ ) met de atmosferische verdamping ( $E_o$ ) en met het vochtgehalte ( $V$ ). Aard en onderlinge verhouding van correcties, die twee tegen elkaar uitgezette variabelen herleiden naar een constante waarde van de derde variabele, zijn aangegeven.

fig.13

Fig. 13 Bepaling van de constanten  $a$  en  $g$  voor de verdampingsberekening

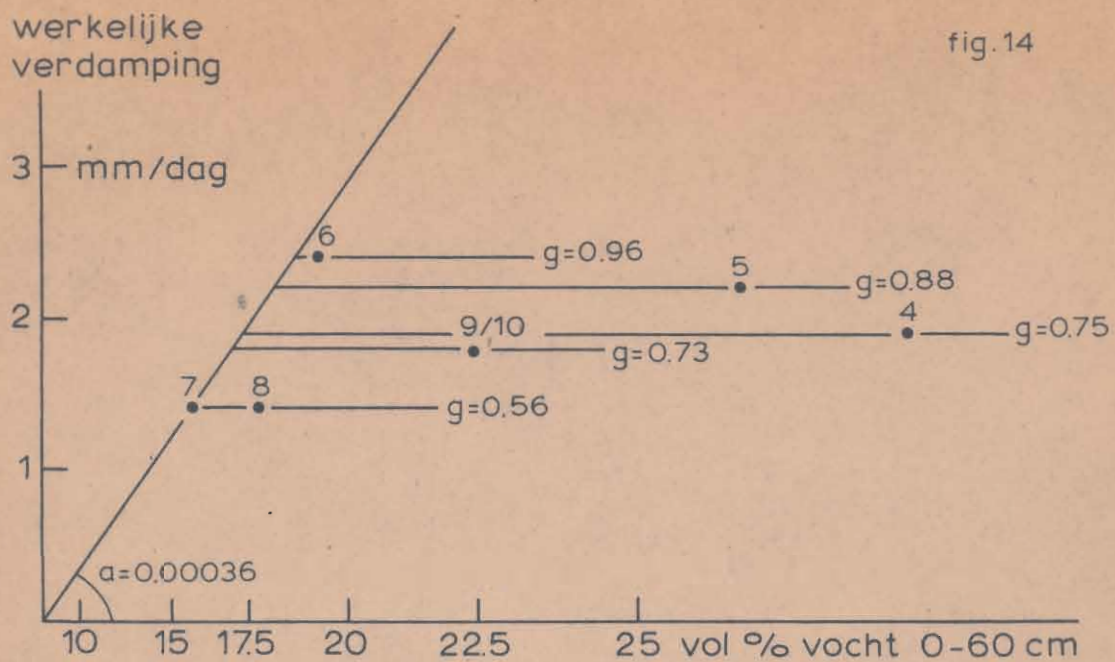


Fig. 14 De meest waarschijnlijke waarden voor de constanten  $\alpha$  en  $g$ .



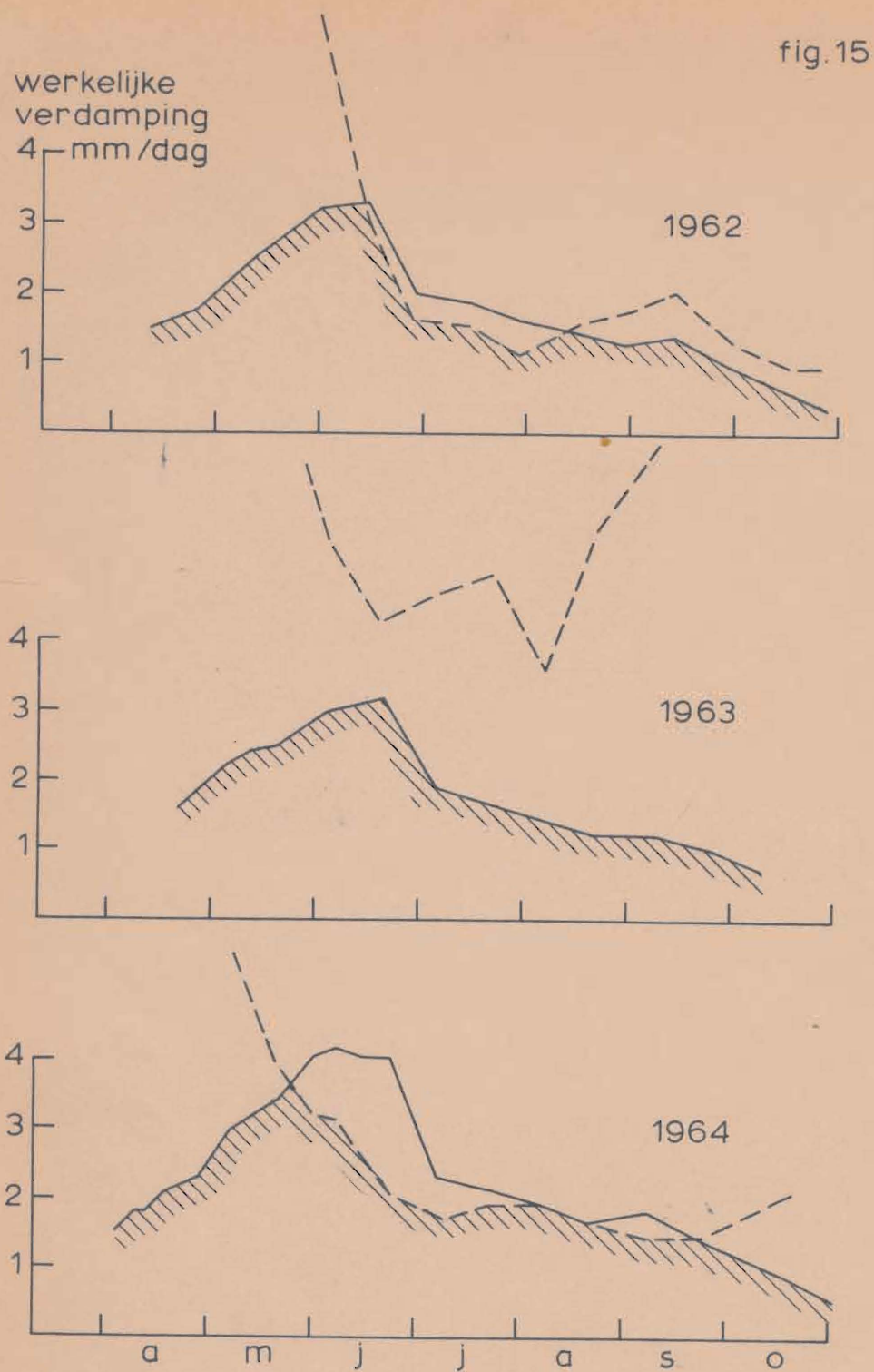


Fig. 15 Het berekende beloop van  $gE_o$  ( — ) en  $aV^m$  ( --- ) voor de bestudeerde zandgrond. De werkelijke verdamping is gelijk aan de laagste van beide waarden.